

# Materiały i wyroby niespełniające wymagań ochrony przeciwpożarowej a dopuszczane do stosowania w pojazdach szynowych ze względu na konieczność funkcjonalną

Izabela TARKA<sup>1</sup>, Danuta MILCZAREK<sup>2</sup>, Aneta ŚWIETLIK<sup>3</sup>

## Streszczenie

Zapewnienie bezpieczeństwa pożarowego w taborze szynowym powiązane jest z zastosowaniem materiałów i wyrobów spełniających wymagane właściwości ogniowe przedstawione szczególnie w normie PN-EN 45545-2. Znane są jednak sytuacje, w których wytyczne ochrony przeciwpożarowej nie zawsze mogą być zrealizowane ze względu na inne wymagania, np. związane z bezpiecznym użytkowaniem materiału czy komponentu lub jego funkcjonalnością w pojeździe. W artykule opisano zasady umożliwiające dopuszczanie w takich przypadkach materiałów/wyrobów do użytkowania w pojazdach szynowych ze względu na konieczność funkcjonalną ich zastosowania zgodnie z zapisami pkt. 4.7 PN-EN 45545-2. Rozpatrywane możliwości dopuszczenia komponentów z tego punktu powinny być poddawane rzetelnej analizie określającej ostatecznie ryzyko ich zastosowania zgodnie z zasadami wspólnej metody oceny bezpieczeństwa odnoszącej się do wyceny i oceny ryzyka.

**Słowa kluczowe:** bezpieczeństwo pożarowe, materiały wyspecyfikowane, wycena i ocena ryzyka

## 1. Ogólne wymagania dla materiałów / wyrobów w zakresie bezpieczeństwa pożarowego

Dynamiczny rozwój transportu szynowego wymusza na producentach taboru stosowanie coraz nowszych rozwiązań technicznych i materiałowych. Powiązane jest to z koniecznością zapewnienia bezpieczeństwa, w tym bezpieczeństwa pożarowego. Dlatego ochrona przeciwpożarowa stanowi szerokie pojęcie związane z zapobieganiem i zwalczaniem pożarów. Kwestią nadrzędną jest ochrona życia, zdrowia, mienia oraz środowiska przed pożarem. Duży nacisk na bezpieczeństwo w środkach transportu kolejowego spowodował intensywny rozwój wymagań i metod w tym zakresie, a w konsekwencji przyczynił się do rozwoju materiałów i wyrobów. Te wymagania mają na celu sprecyzowanie działań w zakresie m.in.: zapobiegania, powstawania i rozprzestrzeniania się pożaru, zapewnienie sił i środków do zwalczania pożaru [1–5].

Nadrzędnymi dokumentami precyzującymi szczegółowe wymagania w zakresie ochrony przeciwpożarowej w taborze szynowym są:

- Rozporządzenie Komisji (UE) 1302/2014 z dnia 18 listopada 2014 r. [6] oraz
- Rozporządzenie Komisji (UE) 1303/2014 z dnia 18 listopada 2014 r. [7].

Środki ochrony przeciwpożarowej i właściwe wymagania są natomiast określone w serii norm EN 45545 (siedem części) i mają na celu ochronę pasażerów oraz załogi w pojazdach szynowych w przypadku wystąpienia pożaru na pokładzie. Środki te mają doprowadzić do zmniejszenia prawdopodobieństwa powstania pożaru, a także, zmniejszenia szybkości i zakresu rozprzestrzeniania się płomienia i w rezultacie minimalizacji wpływu produktów pożaru na pasażerów i załogę. Jak zapisano w pierwszej części normy EN 45545 [8] ochrona pasażerów i załogi polega głównie na działaniach podejmowanych w celu:

- zapobiegania pożarom wywołanym przez usterki techniczne i błędy w konstrukcji wyposażenia pojazdów,

<sup>1</sup> Mgr inż.; Instytut Kolejnictwa, Laboratorium Badań Materiałów i Elementów Konstrukcji; e-mail: itarka@ikolej.pl.

<sup>2</sup> Mgr; Instytut Kolejnictwa, Laboratorium Badań Materiałów i Elementów Konstrukcji; e-mail: dmilczarek@ikolej.pl.

<sup>3</sup> Mgr inż.; Instytut Kolejnictwa, Laboratorium Badań Materiałów i Elementów Konstrukcji; e-mail: aswietlik@ikolej.pl.

- minimalizowania możliwości zapalenia się materiałów stosowanych w pojazdach szynowych wskutek usterek, wypadków czy aktów wandalizmu,
- wykrycia pożaru, jeżeli wystąpi,
- ograniczenia rozprzestrzeniania się ognia przez zastosowanie materiałów zgodnie z ich kategoriami operacyjnymi oraz przedstawienie środków ograniczających to rozprzestrzenianie,
- zminimalizowania skutków działania ognia, jednakże z uwzględnieniem oddziaływania ciepła, dymu oraz toksycznych gazów na pasażerów i załogę, poprzez wyszczególnienie wymagań dla poszczególnych grup materiałów instalowanych w pojazdach szynowych,
- kontroli i ograniczenia pożaru przez jego wczesną detekcję, tłumienie lub awaryjne odłączenie energii.

Najważniejszym zadaniem skutecznej ochrony przeciwpożarowej w przypadku pożaru pojazdu szynowego jest umożliwienie pasażerom i załodze ewakuacji i dotarcia w miejsce bezpieczne (nie oznacza to więc że zastosowane materiały niemetalowe mają być niepalne).

Materiały używane do budowy i wyposażenia pojazdów kolejowych według wymienionych specyfikacji muszą spełniać wymagania normy PN-EN 45545-2 [9, 10] w zakresie określonym „kategorią eksploatacyjną”:

- kategoria eksploatacyjna 2 – dla taboru pasażerskiego kategorii A (w tym lokomotyw pasażerskich),
- kategoria eksploatacyjna 3 – dla taboru pasażerskiego kategorii B (w tym lokomotyw pasażerskich),

- kategoria eksploatacyjna 3 – dla lokomotyw towarowych i pojazdów kolejowych z napędem własnym przeznaczonych do przewożenia innych ładunków użytecznych (poczta, towary itp.),
- kategoria eksploatacyjna 1 – dla maszyn torowych, przy czym wymagania są ograniczone do obszarów dostępnych dla personelu, kiedy dany pojazd kolejowy znajduje się w konfiguracji do jazdy transportowej.

W zależności od kategorii eksploatacyjnej i projektowej pojazdów, materiałom wykorzystanym do ich budowy i wyposażenia przypisuje się odpowiedni poziom zagrożenia pożarowego HL (*hazard level*) zgodnie z normą PN-EN 45545-2 p. 4.1 [9, 10]. Wymagane poziomy przedstawiono w tablicy 1.

Dane zapisane w tablicy 1 przedstawiają zależność poziomu zagrożenia pożarowego HL uwzględniającą kategorię eksploatacyjną, jak i projektową taboru.

Dla danego poziomu HL w tablicy 5, zawartej w normie PN-EN 45545-2 [9,10], są wymienione wymagane wartości poszczególnych parametrów palno-dymowych, podane w zestawach wymagań oznaczonych symbolami R. Zgodnie z tymi wymaganiami materiały niemetalowe planowane do zabudowy w pojeździe szynowym dzielone są na:

- a) Materiały wyspecyfikowane, dla których określono zestawy wymagań od R1 do R28 zgodnie z tablicą 2 ww. normy. Przedstawiono w niej zestawy wymagań przydzielone konkretnym, szczegółowo opisanym wyrobom z uwzględnieniem ich lokalizacji i funkcji realizowanej w pojeździe,
- b) Materiały niewyspecyfikowane, dla których określone zestawy wymagań są uzależnione od obszaru eksponowanego takiego wyrobu i jego lokalizacji (tabl. 3).

Tablica 1

Wymagane poziomy zagrożenia pożarowego HL dla poszczególnego typu taboru [9, 10]

Kategoria eksploatacyjna	Kategoria projektowa			
	N: Pojazdy standardowe	A: Pojazdy tworzące część pociągu automatycznego, na pokładzie którego nie ma załogi przeszkolonej w zakresie sytuacji awaryjnych	D: Pojazdy dwupoziomowe	S: Wagony sypialne i kuszetki
1	HL1	HL1	HL1	HL2
2	HL2	HL2	HL2	HL2
3	HL2	HL2	HL2	HL3
4	HL3	HL3	HL3	HL3

Tablica 2

## Wybrane fragmenty tablicy 2 normy [9, 10]

Nr wyrobu	Nazwa	Szczegółowe informacje	Wymaganie
IN	Wnętrze	-	-
IN1A	Wewnętrzne powierzchnie pionowe	Składniki wnętrza (konstrukcja i wyłożenie), tzn. ściany boczne, przednie i końcowe, przegrody, elementy rozdzielające pomieszczenia, klapy, skrzynie, kołpaki, żaluzje. Drzwi wewnętrzne, okładziny wewnętrzne ścian przednich/końcowych oraz drzwi wewnętrznych i zewnętrznych. Okna (łącznie z elementami z tworzyw i szkła). Materiał izolacyjny oraz powierzchnia wewnętrzna kuchni (oprócz powierzchni urządzeń kuchennych).	R1
IN3B	Rozpraszacze światła	Na przykład rozpraszacze poliwęglanowe i pokrywy lamp. Zespoły świetlne i wskaźniki nie mieszczą się w zakresie IN3B.	R4
IN15	Kompozyty podłogowe	Kompozyty podłogowe obejmują podłoże (wraz z izolacją cieplną) oraz elementy wyłożenia podłogi (wraz z elementami mocującymi oraz klejami zastosowanymi w warunkach).	R10
IN16	Uszczelki wewnętrzne	Uszczelki wzdłużne, takie jak uszczelki okienne, łączniki drzwiowe oraz połączenia paneli.	R22
F	Meble	-	-
F1	Kompletne siedzenia pasażerskie	Kompletne siedzenia pasażerskie obejmujące skorupę siedzenia, tapicerkę, podłokietniki i zagłówki. Obejmuje także siedzenia uchylne i fotel maszynisty (jeśli elementy te są dostępne dla pasażerów). Szczegółowe informacje na temat badań siedzeń (łącznie z warunkami badania wandaloodporności) są podane w normie EN 16989.	R18
E	Urządzenia elektro-techniczne	-	-
EL1A	Kable do wnętrza	Kable niezgodne z jedną z norm powołanych w 4.2c.	R15
EL6A	Układ linii zasilania i urządzenia wysokonapięciowe – stosowane we wnętrzu	Odłączniki, przekładniki prądowe i napięciowe, wyłączniki obwodu głównego; styczniki.	R22
EL9	Płytki obwodów drukowanych	Płytki drukowane obwodów drukowanych bez podłączonych urządzeń technicznych.	R24 lub R25
EL10	Niewielkie wyroby elektrotechniczne	Przykłady: wyłączniki niskonapięciowe, przekaźniki nadmiarowe, styczniki, przekaźniki stycznikowe, przełączniki sterujące i sygnalizujące, zaciski, bezpieczniki.	R26
M	Urządzenia mechaniczne	-	-
M1	Elastyczne zespoły metalowe/gumowe	Elastyczne zespoły metalowe/gumowe, łącznie z elementami wózków zwrotnych.	R9

Tablica 3

## Wymagania dotyczące wyrobów niewyspecyfikowanych według norm [9, 10]

Obszar ekspozycyjny	Lokalizacja	Zestaw wymagań
> 0,20 m <sup>2</sup>	we wnętrzu	R1
> 0,20 m <sup>2</sup>	na zewnątrz	R7
≤ 0,20 m <sup>2</sup>	we wnętrzu	R22
≤ 0,20 m <sup>2</sup>	na zewnątrz	R23

Materiały niewyspecyfikowane w normie PN-EN 45545-2 [9, 10] mogą być również oceniane zgodnie z regułami grupowania opisanymi w przedmiotowej normie pkt. 4.3.

Zestawy wymagań od R1 do R28 są ściśle powiązane z metodami badawczymi, według których należy przeprowadzić badania dla konkretnego zastosowania materiału lub wyrobu. W tablicy 4 przedstawiono przykładowy zestaw, dotyczący wymagań R1, z norm [9, 10] z podanymi granicznymi wartościami parametrów ogniowych.

Tablica 4

Przykładowy zestaw wymagań R1 według tablicy 5 norm [9, 10]

Zestaw wymagań (odpowiedni dla wyrobu)	Powołanie na metodę badawczą	Parametr Jednostka	Maksimum lub minimum	HL1	HL2	HL3
R1 (IN1A; IN1B, IN1D; IN1E; IN4; IN5; IN6A; IN7; IN8; IN9B; IN11; IN12A; IN12B; IN14; EX4A, F5)	T02 ISO 5658-2	CFE [kW·m <sup>-2</sup> ]	Minimum	20a	20a	20a
	T0-3.01 ISO 5660-1: 50 kW·m <sup>-2</sup>	MARHE [kW·m <sup>-2</sup> ]	Maksimum	-	90	60
	T10.01 EN ISO 5659-2: 50 kW·m <sup>-2</sup>	D <sub>s</sub> (4) bezwym.	Maksimum	600	300	150
	T10.02 EN ISO 5659-2: 50 kW·m <sup>-2</sup>	VOF4 min	Maksimum	1200	600	300
	T11.01 EN 17084 Metoda 1: 50 kW·m <sup>-2</sup>	CIT <sub>G</sub> bezwym.	Maksimum	1,2	0,9	0,75

Przykład (tabl. 4) dotyczy zestawu wymagań przypisanego dla materiałów bardzo często stosowanych w budowie i wyposażeniu pojazdów szynowych: elementów powierzchni wewnętrznych, obudów, pulpików, przejść międzywagonowych, wyświetlaczy, rolet itd.

## 2. Możliwość dopuszczania do użytkowania w pojazdach szynowych materiałów / wyrobów, które nie spełniają wymaganych właściwości ogniowych z uwagi na konieczność funkcjonalną ich zastosowania

Materiały i wyroby przeznaczone dla taboru szynowego muszą spełniać wiele różnych wymagań użytkowych, w związku z tym wytyczne ochrony przeciwpożarowej zawarte w normach PN-EN 45545-2 [9, 10] nie zawsze mogą być zrealizowane, jeśli inne wymagania (np. związane z bezpiecznym użytkowaniem materiału czy komponentu) nie pozwalają na ich spełnienie. W takim przypadku, punkt 4.7 normy PN-EN 45545-2 [9, 10] daje możliwość zatwierdzenia tych elementów, które nie spełniają wymagań, w punktach 4.2 do 4.5 norm PN-EN 45545-2 [9, 10], ze względu na ich nadrzędne właściwości funkcjonalne. Jednakże ze względu na zachowanie bezpieczeństwa pożarowego pojazdu szynowego należy unikać nieprzemyślanego i pochopnego wykorzystania wyrobów w ten sposób akceptowanych. Aby temu zapobiec konieczne okazało się określenie szczegółowych wytycznych analizy tych materiałów i metody ich weryfikacji. Ma to na celu umożliwienie zgodnego z prawem użytkowania takich komponentów i ograniczenie błędnej interpretacji tego punktu.

Dokładną definicję i wynikające z niej wymagania dotyczące możliwości zastosowania z pkt. 4.7 PN-EN 45545-2 [9, 10] zapisano następująco:

„Jeżeli można wykazać, że którekolwiek z powyższych wymagań nie jest technicznie osiągalne przez wyroby odpowiednie funkcjonalnie, można wykorzystać wyroby dostępne na rynku dopóki i jeśli nie zostanie opracowany odpowiedni produkt. Nie ma wymogu uwzględniania produktów udostępnionych po dacie podpisania kontraktu. Zastosowanie tego paragrafu podlega następującym warunkom:

- zasadnicze wymagania podane w 4.1 nie powinny zostać naruszone,
- należy to zweryfikować poprzez ocenę, przy czym rozpatruje się proponowany projekt, uwzględniając powód funkcjonalny i ograniczenie korzystania z danego materiału (np. klimat i/lub infrastruktura)”.

Przytoczony zapis jest dość ogólny, dlatego aby ułatwić właściwą interpretację pkt. 4.7 [9, 10] i uniknąć nieuzasadnionego stosowania w taborze szynowym niektórych materiałów nie spełniających wymagań normy PN-EN 45545-2 [9, 10], organ zrzeszający jednostki notyfikowane do Dyrektywy w sprawie interoperacyjności systemu kolei przygotował dokument pt. „Rekomendacje NB-RAIL (*Notified Bodies* – RAIL) tzw. zalecenia stosowania (RFU) pt. RFU RST-313 «Use of EN 45545-2 § 4.7 for products that do not require to be compliant» [11]. Dokument ten zawiera szczegółowe informacje na temat właściwego przeprowadzenia procedury zastosowania punktu 4.7 normy PN-EN 45545-2 [9, 10] celem akceptacji właściwości ogniowych materiałów i komponentów, które mają być stosowane w budowie pojazdów szynowych ze względu na ich konieczność funkcjonalną. Dopuszczając wyroby niespełniające wymaganych parametrów ogniowych, do zastosowania, należy świadomie określić ryzyko związane z wprowadzeniem ich użytkowania. Dlatego dokument RFU RST-313 [11] wykorzystuje podejście do zarządzania ryzykiem określone w Rozporządzeniu CSM-RA (ang. *Common Safety*

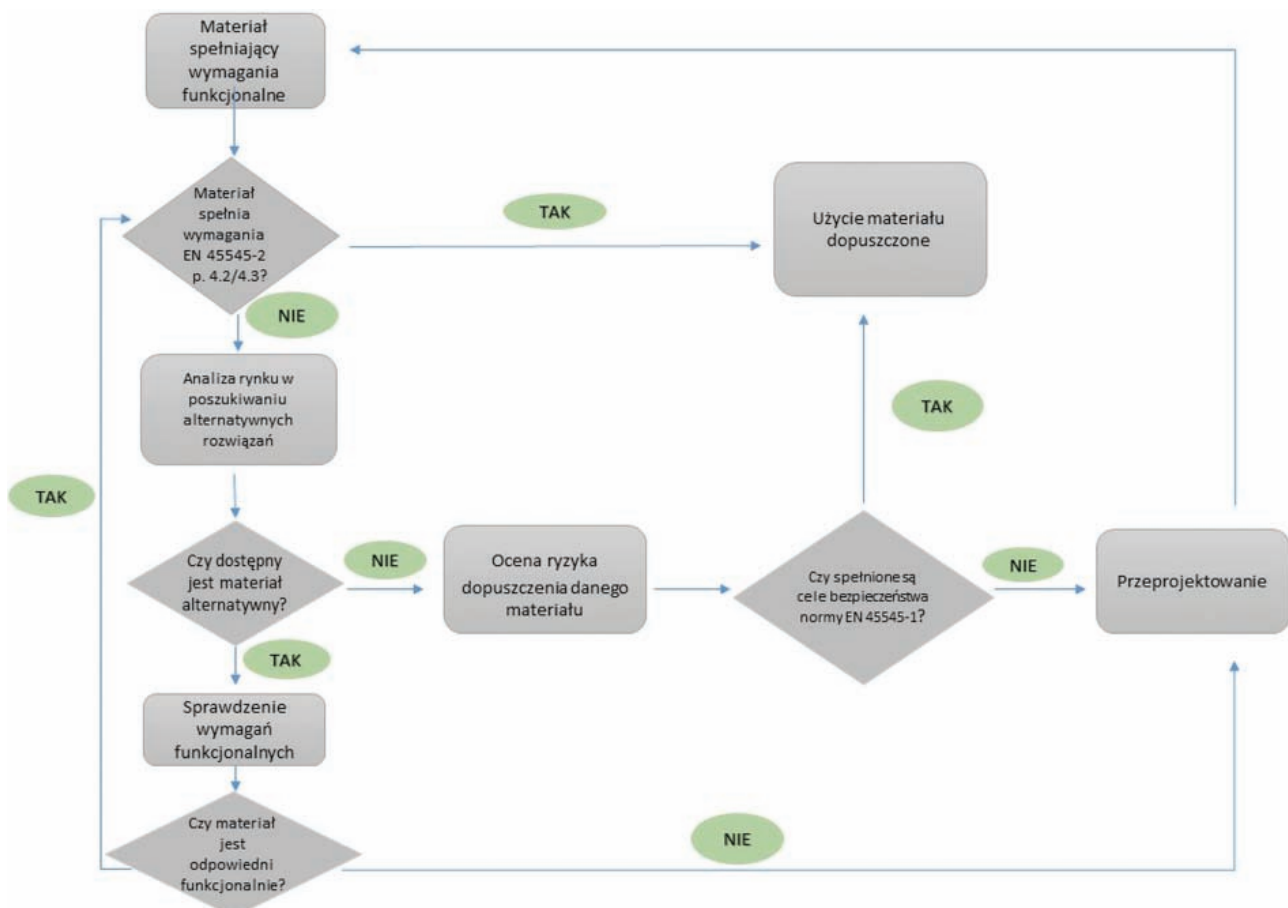
*Method for risk evaluation and assessment* – wspólna metoda oceny bezpieczeństwa odnosząca się do wyliczenia i oceny ryzyka – potocznie używane określenie Rozporządzenia 402/2013 [12]). Rozporządzenie to wskazuje na konieczność przeprowadzenia takiej oceny potencjalnego wpływu zmiany na bezpieczeństwo systemu kolejowego (zmiana jest związana z wprowadzeniem wyrobów spełniających parametry funkcjonalne, ale nie spełniających wymaganych właściwości ogniowych norm PN-EN 45545-2) [9, 10]. RFU przedstawia schemat analizy krok po kroku dotyczący możliwości zastosowania punktu 4.7 norm [9, 10], który przedstawiono na rysunku 1.

W pierwszym kroku analizy należy dokładnie scharakteryzować ten komponent, który ma być używany jako konieczność funkcjonalna. W tym celu niezbędne jest podanie następujących informacji:

- opis funkcji realizowanych przez dany komponent,
- opis obszaru instalacji komponentu,
- opis zamierzonej dostępności obszaru jego zastosowania dla personelu, pasażerów i osób trzecich.

Należy również wziąć pod uwagę częstość okresów konserwacji czy wymiany danego komponentu w czasie eksploatacji pojazdu.

W drugim etapie należy określić właściwe zestawy wymagań (od R1 do R28) obowiązujące w konkretnym przypadku zastosowania danego komponentu, podane w rozdziałach 4.2 i 4.3 normy PN-EN 45545-2 [9, 10]. Zgodnie z tymi wymaganiami należy przedstawić wyniki badań właściwości ogniowych uzyskane dla tych komponentów. Wyniki pozytywne są podstawą dopuszczenia wyrobu do stosowania. W przypadku braku spełnienia wymaganych właściwości ogniowych dostawca komponentu powinien przeprowadzić analizę rynku w celu poszukiwania komponentów alternatywnych spełniających wszystkie stawiane wymagania. Dlatego tak ważnym krokiem w procesie rozpatrywania zastosowania pkt. 4.7 jest przeprowadzenie analizy rynku pod względem możliwości użycia alternatywnego wyrobu. Element alternatywny powinien spełniać wymagania określone jako funkcjonalnie niezbędne. Wybranie komponentów zamiennych, dostępnych na rynku, wymaga



Rys. 1. Schemat analizy możliwości zastosowania pkt. 4.7 norm [9, 10]

przedstawienia udokumentowanego dowodu sprawdzenia ich przydatności. Konieczna jest weryfikacja właściwości komponentów i systemu kontroli jakości u dostawców.

Po potwierdzeniu wymaganych parametrów funkcjonalnych komponentu należy sprawdzić rozpatrywane elementy pod względem zgodności z normą PN-EN 45545-2 [9, 10]. Takie zapytanie producent powinien skierować do dostawców posiadających przedstawicielstwa lub możliwości dystrybucji na terenie Europejskiego Obszaru Gospodarczego, którzy oferują analizowane komponenty, mogące w całości lub częściowo spełniać wymagane specyfikacje. Analizując przydatność materiałów alternatywnych należy ocenić następujących dowodów spełnienia wymagań:

- wyniki badań ogniowych materiału,
- wyniki testów zdefiniowanych wymagań funkcjonalnych.

Jeżeli producent/dystrybutor danego komponentu spełniającego wymagania funkcjonalne, ale nie spełniającego wymaganych właściwości ogniowych, wykaże, że po przeprowadzeniu analizy rynku nie udało się znaleźć alternatywnego elementu, dla którego można potwierdzić spełnienie wymagań dotyczących każdego z tych obszarów, wówczas należy przeprowadzić analizę ryzyka dopuszczenia do stosowania rozpatrywanego komponentu. Metoda oceny służąca określeniu wyceny ryzyka zastosowania komponentu musi być zgodna z wytycznymi CSM-RA (UE) 402/2013 [12] i normami, takimi jak PN-EN IEC 60812 [13] lub PN-EN 50126-1 [14]. W celu potwierdzenia możliwości zastosowania elementu niezbędnego funkcjonalnie w budowie pojazdu szynowego, przeprowadzona ocena musi uwzględniać m.in. wymienione dane oraz informacje, tj.:

1. Definicję celów bezpieczeństwa zgodnie z PN-EN 45545-1 [8]. W punkcie 4.1 tej normy podano, że celem ochrony przeciwpożarowej jest minimalizacja prawdopodobieństwa powstania pożaru, kontrola szybkości i zakresu rozprzestrzeniania się pożaru oraz w rezultacie, minimalizacja wpływu produktów pożaru na pasażerów i załogę. Cele te są rozpatrywane w kontekście kategorii eksploatacyjnych i projektowych pojazdu szynowego. Jeżeli cele określone w punkcie 4 normy PN-EN 45545-1 [8] zostaną spełnione, to powinno istnieć duże prawdopodobieństwo, że w przypadku pożaru pasażerowie i personel będą mogli samodzielnie ewakuować się z pożaru i dotrzeć do bezpiecznego miejsca. Zgodnie z zakresem zastosowania serii norm PN-EN 45545 ich celem nie jest opisywanie środków, które zapewniają zabezpieczenie pojazdów w przypadku pożaru i uchronią go przed jego skutkami i które wykraczają poza to, co jest konieczne do ochrony pasażerów i personelu.

2. Kategorie konstrukcyjne i użytkowe pojazdu oraz wynikający z nich poziom zagrożenia.
3. Przypisany zestaw wymagań R oraz jeśli to możliwe, odchylenia uzyskanych wyników badań ogniowych od wymaganych wartości granicznych.
4. Opis komponentu zawierający: funkcje przez niego realizowane, opis obszaru instalacji komponentu i dostępność obszaru jego zastosowania dla personelu, pasażerów i osób trzecich.
5. Wykazanie zachowania ogniowego elementów w formie analizy wyników już przeprowadzonych badań ogniowych (krajowe lub europejskie normy bezpieczeństwa pożarowego).
6. Opis potencjalnego źródła zapłonu (zgodnie z normą PN-EN 45545-1 [8]) znajdującego się w obszarze instalacji elementu niezbędnego funkcjonalnie.

W odniesieniu do wykonywania analizy ryzyka i zagrożeń dla rozważanego komponentu należy wziąć pod uwagę odpowiednie ryzyko pożaru z powiązаныmi, następującymi modelami zapłonu:

- Przypadkowy zapłon lub podpalenie – ten rodzaj pożaru zazwyczaj obejmuje zapłon elementu przez gazety, papierosy i zapalniczki gazowe. Zwykle obszary, gdzie ten typ zapłonu może wystąpić są swobodnie dostępne dla pasażerów, personelu i osób trzecich. Dla tego przypadku należy rozważyć modele zapłonu 1 i 2 zgodnie z załącznikiem A normy PN-EN 45545-1 [8].
- Wada techniczna – ten rodzaj pożaru zazwyczaj wiąże się z zapłonem komponentu z powodu wady elektrycznej, co często wiąże się z jego przegrzaniem – wówczas należy wziąć pod uwagę modele zapłonu 3 i 4 zgodnie z załącznikiem A normy PN-EN 45545-1 [8].
- Duże zdarzenia pożarowe – ten typ pożaru jest większy niż opisane w rozdziałach 3.4.1 oraz 3.4.2 normy PN-EN 45545-1 [8] pożary w fazie wstępnej. W tym przypadku należy rozważyć model zapłonu 5 zgodnie z załącznikiem A ww. normy.
- Identyfikacja środków minimalizacji ryzyka – przykładowo zastosowanie niepalnej obudowy, systemu detekcji lub gaszenia pożaru w obszarze instalacji komponentu.

Analizę ryzyka pożarowego danego komponentu należy przeprowadzić na podstawie zapisów normy PN-EN 50126-1 [14] i PN-EN IEC 60812 [13]. Określone oraz ilościowo oceniane są przy tym następujące parametry:

- istotność/znaczenie przypadku zagrożenia *S* (*Severity*) (podobnie do stopnia zagrożenia, względnie następstw);
- prawdopodobieństwo wystąpienia (podobnie do częstotliwości) przypadku zagrożenia, *O* (*Occurrence*);

- prawdopodobieństwo wykrycia / detekcji błędu  $D$  (*Detectability*).

Analiza ryzyka pożarowego opiera się na zasadzie jakościowej analizy ryzyka, tak jak opisano w normie PN-EN 50126-1 [14]. Aby jednak uprościć tę metodę, trzy wymienione parametry przedstawiono za pomocą liczb, za pomocą których oblicza się liczbę priorytetową ryzyka RPN mnożąc te trzy wartości parametrów:

$$RPN = S \times O \times D \quad (1)$$

W tablicach 5–7 przedstawiono zaproponowane przez RFU RST-313 [11] wartości poszczególnych stopni przypisane dla tych parametrów.

Dla każdego z trzech wymienionych parametrów przypisuje się zgodnie z danymi technicznymi, statystyki awarii lub analizy, ekspercką konkretną jego wartość (stopień). Jeśli wyznaczona zgodnie z podanym wzorem (1) liczba priorytetowa ryzyka RPN jest większa niż ustalona graniczna wartość przedstawiona w tablicy 8 (macierz ryzyka), należy przedsięwziąć działania w celu zminimalizowania tak określonego ryzyka.

Tablica 5

Klasyfikacja wartości przypisanych do wskaźnika istotności  $S$  [11]

	Kryteria	Ocena, stopień
Znaczenie / $S$	Nieistotny; możliwe drobne obrażenia, niewielkie uszkodzenia systemu.	1
	Marginalny; lekkie obrażenia i/lub znaczące zagrożenie dla środowiska, poważne uszkodzenie systemu(ów).	3
	Krytyczny; kilka wypadków śmiertelnych i/lub ciężko rannych i/lub znaczne szkody dla środowiska naturalnego, utrata ważnego systemu.	5
	Katastrofalny; wypadki śmiertelne i/lub wielu ciężko rannych i/lub poważne szkody w środowisku.	10

Tablica 6

Przykładowe wartości przypisane dla wskaźnika prawdopodobieństwa wystąpienia  $O$  [11]

	Kryteria	Ocena, stopień
Prawdopodobieństwo wystąpienia / $O$	Mało prawdopodobny; zdarzenie jest mało prawdopodobne, ale możliwe. Można przypuszczać, że zagrożenie to występuje tylko w wyjątkowych przypadkach.	1
	Rzadki; może czasami wystąpić w trakcie cyklu życia. Wskazana jest świadomość występującego zagrożenia.	3
	Sporadyczny; może wystąpić więcej niż jeden raz. Można spodziewać się, że niebezpieczeństwo wystąpi więcej niż jeden raz.	5
	Częsty; będzie się często pojawiać. Niebezpieczeństwo jest zawsze obecne.	10

Tablica 7

Przykładowe wartości przypisane dla wskaźnika prawdopodobieństwa wykrycia  $D$  [11]

	Kryteria	Ocena, stopień
Prawdopodobieństwo wykrycia / $D$	Wysokie; incydent jest rozpoznany podczas formowania się w czasie przez technologię monitorującą (BMA) lub ludzi.	1
	Mały; incydent jest wykrywany z opóźnieniem lub wykrywany przez efekty wtórne (np. dym, zapach).	3
	Mało prawdopodobny; incydent jest trudny do wykrycia.	5

Tablica 8

Przykład zakresów wartości dla poszczególnych kategorii ryzyka [11]

Liczba priorytetowa ryzyka $RPO = S \times O \times D$	Zakres wartości	Klasa/kategoria	Skutek
		> 60	Nieakceptowalny
	60÷31	N60 niepożądany	Może zostać zaakceptowany tylko wtedy, gdy ograniczenie ryzyka jest praktycznie niemożliwe i istnieje zgoda zarówno przedsiębiorstwa kolejowego, jak i organu nadzoru odpowiedzialnego za bezpieczeństwo i ochronę. Uwaga: IOD 2016/797 przewiduje, że zezwolenie dla typu pojazdu może być udzielone bez udziału przedsiębiorstwa kolejowego (=RU). W związku z tym ocena ryzyka RU jest fakultatywna podczas oceny zgodności z TSI.
	30÷16	Akceptowalny	Dopuszczalne przy odpowiednim monitorowaniu i za zgodą przedsiębiorstwa kolejowego.
	5÷1	Nieistotny, mało-znaczący	Do zaakceptowania bez dalszej zgody przedsiębiorstwa kolejowego.

Przedstawiona procedura analizy możliwości zastosowania danego komponentu zgodnie z pkt. 4.7 PN-EN 45545-2 [9, 10] wymaga wielu prac przygotowawczych na każdym etapie oceny prowadzących do zebrania dużej ilości informacji dotyczących zasad działania komponentu, obszaru jego instalacji, ewentualnych źródeł zapłonu czy możliwości wystąpienia awarii prowadzącej do zagrożenia pożarowego. Co do zasady, Wnioskodawca odpowiada za kompletność i spójność dokumentów w odniesieniu do całości produktu. Przeprowadzając analizę ryzyka pożarowego produktu należy uzasadnić wybrane wartości w poszczególnych kategoriach, określić RPN oraz sprawdzić czy ta wartość mieści się w ustalonych wartościach granicznych.

### 3. Opis grup materiałowych dopuszczanych z konieczności funkcjonalnej, przykład komponentu akceptowanego z konieczności funkcjonalnej zgodnie z pkt. 4.7 [9, 10] z wykorzystaniem oceny ryzyka wprowadzenia go do użytkowania

W uwadze zamieszczonej w pkt. 4.7 [9, 10] wyszczególniono wiele wyrobów, które prawdopodobnie będą musiały zostać aprobowane z konieczności funkcjonalnej ze względu na brak możliwości spełnienia zarówno wymagań funkcjonalnych, jak i ogniowych. Należą do nich takie wyroby jak: „opony gumowe, gumowe elementy zawieszenia, przejścia międzywagonowe, urządzenia elektroniczne na płytkach drukowanych, elektryczne zespoły metalowe/gumowe, uszczelki okienne, uszczelki drzwiowe, giętkie przewody hamulcowe, giętkie przewody

paliwowe, kable wysokiego napięcia, kable przesyłu danych, warstwa przeciwoodpryskowa na szybie kabiny maszynisty, zbiorniki na wodę układu spryskiwacza szyby przedniej.”

Część z tych wyrobów w ramach rozwoju technologii dopracowano i spełniają cały zakres wymaganych parametrów – dotyczy to między innymi uszczelki, przewodów hamulcowych oraz paliwowych, przewodów elektrycznych (wysokiego napięcia, przesyłowych). Problematyczne pozostają w dalszym ciągu wyroby zawierające gumę: elementy gumowo-metalowe, gumowe elementy zawieszenia czy gumowe przejścia międzywagonowe. Przed wydaniem omawianego RFU RST-313 [11] ocenę tego typu wyrobów przeprowadzano stosując większość z wytycznych tam zawartych. Przykładowo, pomimo wielu prób dostosowania mieszanki kauczuków i sadzy przeznaczonej na wałki przejść międzywagonowych nie udało się uzyskać dla tych wyrobów jednocześnie pozytywnych wyników parametrów fizyko-mechanicznych i ogniowych. Zgodnie z wynikami badań podanymi w pracy [15] wybrana mieszanka o symbolu CX7 spełniała wymagane parametry fizyko-mechaniczne (m.in. wytrzymałość na rozciąganie, ścieralność, odporność na starzenie, twardość), ale nie osiągnęła wymaganego poziomu zagrożenia HL2 dla przypisanego zestawu wymagań R1 i R7 w zakresie właściwości dymowych i toksyczności. Po przeprowadzeniu analizy, powszechnie dostępnych na rynku, wyrobów tego rodzaju nie znaleziono takiego, który spełniłby cały zakres wymagań. Analizując zagrożenie pożarowe dla możliwych do wystąpienia źródeł zapłonu dla tych wyrobów, można przypisać w tym wypadku modele zapłonu 1 i 2 zgodnie z załącznikiem A normy PN-EN 45545-1 [8] odpowiadające przypadkowemu zapłonowi lub podpaleniu. Zapłon elementu spowodowany jego wadą techniczną jest niemożliwy (nie jest to urządzenie elektryczne), jednocześnie usytuowanie wyrobów na



końcach wagonów powoduje oddalenie ich od urządzeń mogących być źródłem zapłonu. Spełnione są również wymagane cele bezpieczeństwa przedstawione w normie PN-EN 45545-2 pkt.4.1 [9, 10] dotyczące ograniczenia rozprzestrzeniania się pożaru w przypadku wystąpienia zapłonu oraz zapewnienia możliwości ewakuacji do obszaru bezpiecznego (elementy widoczne, łatwo dostępne dla pasażerów i obsługi celem ugaszenia ognia, szybka detekcja ewentualnego ognia lub dymu). Na podstawie analizy, mieszanka o symbolu CX7 na walce przejść międzywagonowych została dopuszczona do zastosowania w taborze szynowym z konieczności funkcjonalnej zgodnie z wytycznymi pkt. 4.7 [9, 10].

Obecnie, zgodnie z wytycznymi RFU RST-313 [11] dla wyrobów dopuszczanych z konieczności funkcjonalnej zgodnie z pkt. 4.7 norm [9, 10] należy przeprowadzić analizę ryzyka wprowadzenia do użytkowania w taborze szynowym tych elementów.

Przykładowy sposób przeprowadzenia tej procedury przedstawiono na przykładzie matrycy E-Ink zastosowanej w wyświetlaczach przeznaczonych do zastosowania wewnątrz pojazdów szynowych. Głównymi składnikami matrycy, wykonanej w technologii e-papier (konkretnie E-link) są miliony mikrokapsułek o średnicy ludzkiego włosa. Każda mikrokapsułka jest wypełniona przezroczystym płynnym polimerem oraz cząsteczkami barwnika o średnicy 1 mikrometra. Mikrocząsteczki mają niewielki ładunek elektryczny ujemny lub dodatni. Same kapsułki są także zawieszane w płynie, tworząc swego rodzaju atrament. Atramentem tym pokrywa się obwód elektroniczny, składający się z elektrod sterujących wyświetlaczem. Technologia E-Ink powszechnie określana jest jako bi-stabilna. Oznacza to, że obraz na ekranie E-Ink zostanie zachowany nawet wtedy, gdy wszystkie źródła zasilania zostaną odcięte. Dlatego wyświetlacze tego typu cechuje bardzo niski pobór energii, która jest zużywana tylko podczas samej zmiany obrazu.

Ocenę właściwości ogniowych wyświetlacza z matrycą E-Ink prowadzono zgodnie z regułami grupowania podanymi w pkt. 4.3 [9, 10] stosowanymi dla elementów niewyspecyfikowanych. Zgodnie z zasadami tam podanymi, matrycy przypisano zestaw wymagań R24 ponieważ zsumowana masa palna materiałów w tym urządzeniu nie przekraczała 500 g. Wyniki badania wskaźnika tlenowego (jedyne test z zestawu R24) wykazały, że materiał ten nie spełnia założonych wymagań (uzyskano wartość  $OI < 28\%$  przy wartości wymaganej  $> 28\%$ ). Jest to spowodowane tym, że materiały wykorzystywane w matrycach e-papieru to głównie różnego rodzaju polimery charakteryzujące się zwiększoną palnością. Sama matryca umieszczona jest jednak w niepalnej metalowej obudowie, strona ekspozycyjna zaś zabudowana jest szkłem, a masa samej matrycy stanowi niewielką część masy wyświetlacza.

Powstanie pożaru w wyświetlaczach, w których zamontowana jest ta matryca możliwe jest w zasadzie tylko pod wpływem działania zewnętrznych źródeł zapłonu, dlatego można przypisać w tym wypadku model zapłonu 1 i 2 zgodnie z załącznikiem A normy PN-EN 45545-1 [8] odpowiadające przypadkowemu zapłonowi lub podpaleniu.

Pozostałe zastosowane komponenty niemetalowe spełniają wymagania norm PN-EN 45545-2 [9, 10], cechują się ograniczoną palnością, dymotwórczością i niską emisją dymu. Nie można wykluczyć powstania pożaru z powodu usterki technicznej wyświetlacza, jest to jednak bardzo mało prawdopodobne ze względu na niski pobór mocy elektrycznej tego urządzenia – 3 W (maksymalny pobór energii 40 W podczas zmiany obrazu), przy napięciu znamionowym 24 VDC. Ze względu na zamkniętą konstrukcję wyświetlacza możliwość zapłonu jest bardzo mała z powodu ograniczonego dostępu ognia do obudowy.

Szczegółowa analiza zastosowania, parametrów pracy oraz lokalizacji omawianych elementów pozwala na stwierdzenie, że ich zastosowanie w wyświetlaczach nie narusza spełnienia głównych wymagań podanych w normie PN-EN 45545-2 p.4.1 [9, 10], tzn. ograniczenia rozprzestrzeniania się pożaru w przypadku wystąpienia zapłonu, tak aby osiągnięty został akceptowalny poziom bezpieczeństwa. W przypadku wystąpienia pożaru ze względu na lokalizację urządzeń w widocznym, łatwo dostępnym miejscu załoga będzie w stanie ugasić pożar lub samodzielnie ewakuować się i dotrzeć do bezpiecznego miejsca.

Firma, która zajmuje się dystrybucją wyświetlaczy, przeprowadziła również analizę rynku mającą na celu sprawdzenie czy dostępne są matryce działające na zasadzie e-papieru, spełniające wymagania norm [9, 10]. Obecnie, na tym etapie rozwoju tej technologii nie występują na rynku matryce e-papier, które przy zachowaniu wymienionych wymaganych właściwości funkcjonalnych spełniają jednocześnie wymagania ochrony przeciwpożarowej w taborze szynowym.

Na podstawie powyższych danych przypisano wartości poszczególnych parametrów potrzebnych do wyznaczenia priorytetowej liczby ryzyka RPN zgodnie z wytycznym omawianego RFU [9, 10]. Dla parametru (S) określającego znaczenie awarii wyświetlacza z matrycą E-Ink prowadzącej do zapłonu przypisano stopień 1 (tablica 5 – nieistotne; możliwe drobne obrażenia lub niewielkie uszkodzenia systemu). Wynika to z bardzo małej masy materiałów palnych matrycy E-Ink w stosunku do pozostałych, spełniających wymagania ochrony przeciwpożarowej materiałów niemetalowych analizowanych wyświetlaczy. Dodatkowo szczelna obudowa metalowo-szklana utrudnia przedostanie się ognia na zewnątrz, a dobra widoczność urządzenia ułatwia jego szybkie ugaszenie nie dopuszczając do rozprzestrzenienia się pożaru.

Prawdopodobieństwo wystąpienia (O) zapłonu od tego komponentu określono na poziomie 1 (według tablicy 6 – zapłon jest mało prawdopodobny, ale możliwy, można przypuszczać, że zagrożenie to występuje tylko w wyjątkowych przypadkach). Jest to związane z bardzo niskim poborem mocy przez matrycę, a jej obwody elektroniczne nie nagrzewają się podczas pracy.

Wartość parametru odpowiadającego prawdopodobieństwu wykrycia (D) zgodnie z tablicą 7 ustalono jako 1 (wysokie) ze względu na to, że obszar instalacji wyświetlaczy z matrycą E-Ink jest ogólnodostępny zarówno dla obsługi pojazdu szynowego, jak i dla pasażerów, a ze względu na charakter pracy (wyświetlacz) jest często obserwowany co ułatwia szybką detekcję pierwszych symptomów pożaru (np. wydzielającego się dymu). Na podstawie tak określonych wartości parametrów wyznaczono priorytetową liczbę ryzyka RPN:

$$RPN = S \times O \times D = 1 \times 1 \times 1 = 1$$

Dla uzyskanego wyniku, ryzyko wprowadzenia tego komponentu jest w pełni akceptowalne ponieważ mieści się w zakresie wartości przypisanych do kategorii: nieistotne, mało znaczące zgodnie z tablicą 8.

W związku z analizą na podstawie pkt 4.7 normy PN-EN 45545-2 [9, 10] omawiane matryce E-Ink uznano za zaaprobowane z konieczności funkcjonalnych na poziomie zagrożenia HL1, HL2 i HL3 do czasu opracowania matryc opartych na technologii e-papieru spełniających jednocześnie wymagania palnościowe i funkcjonalne.

#### 4. Podsumowanie

Materiałów dopuszczonych do użytkowania ze względu na konieczność funkcjonalną zgodnie z wytycznymi pkt. 4.7 normy [9, 10], a nie spełniających wymagań ogniowych określonych w normach [9, 10], jest niewiele na tle wszystkich stosowanych niemetalowych materiałów i składników urządzeń. Jednakże stanowią one duży problem dla ich producentów i dystrybutorów ze względu na konieczność zapewnienia bezpieczeństwa pożarowego pojazdów szynowych [16]. Aby standardy bezpieczeństwa były zachowane, wszystkie komponenty, dla których rozpatrywano możliwość dopuszczenia z tego punktu, powinny być poddawane rzetelnej analizie określającej ostatecznie ryzyko ich zastosowania zgodnie z wytycznymi omawianego RFU RST-313 [11], opartej na zasadach wspólnej metody oceny bezpieczeństwa odnoszącej się do wyceny i oceny ryzyka. Jeżeli dopuszczenie komponentu czy materiału jest przeprowadzone zgodnie z przedstawioną procedurą, wówczas można uznać, że jest on zgodny z nadrzędnymi

wymaganiami materiałowymi określonymi w TSI Loc & Pas (1302/2014 (UE)), pkt 4.2.10.2.1 (2) [6].

#### Literatura

1. Radziszewska-Wolińska J.M.: *Passenger train fire in a tunnel*, Second International Conference LONG ROAD and RAIL TUNNELS, 09-11.05.2002, Hong Kong, Tunnel Management International Ltd. vol. 5, Nr 4, 2002, Kempston, UK.
2. Radziszewska-Wolińska J.M.: *TRANSFEU – (Transport Fire Safety Engineering in the European Union)* inżynieria ochrony przeciwpożarowej w transporcie UE, XIX Konferencja Naukowa „POJAZDY SZYNOWE”, Targanice k. Andrychowa, 15–17.09.2010 r.
3. Radziszewska-Wolińska J.M.: *Outlining the progress with regards to fire safety of Polish rolling stock*, 6th annual Fire Protection of Rolling Stock Conference, London, 24–25.03.2010, CD.
4. Radziszewska-Wolińska J.M.: *Bezpieczeństwo pożarowe taboru szynowego w Polsce i Europie*, Problemy Kolejnictwa, 2011, z. 153, s. 83–91.
5. Radziszewska-Wolińska J.M.: *Revision Process of EN 45545*, Problemy Kolejnictwa, 2014, z. 164, s. 69–77.
6. Rozporządzenie Komisji (UE) nr 1302/2014 z dnia 18 listopada 2014 r. w sprawie technicznej specyfikacji interoperacyjności odnoszącej się do podsystemu „Tabor – lokomotywy i tabor pasażerski” systemu kolei w Unii Europejskiej.
7. Rozporządzenie Komisji (UE) nr 1303/2014 z dnia 18 listopada 2014 r. w sprawie technicznej specyfikacji interoperacyjności w zakresie aspektu „Bezpieczeństwo w tunelach kolejowych” (TSI SRT) systemu kolei w Unii Europejskiej.
8. PN-EN 45545-1:2013-07: Kolejnictwo – Ochrona przeciwpożarowa w pojazdach szynowych. Część 1: Postanowienia ogólne.
9. PN-EN 45545-2:2015-12: Kolejnictwo. Ochrona przeciwpożarowa w pojazdach szynowych. Część 2: Wymagania dla materiałów i elementów w zakresie właściwości palnych.
10. PN-EN 45545-2:2021-01: Kolejnictwo. Ochrona przeciwpożarowa w pojazdach szynowych. Część 2: Wymagania dla materiałów i elementów w zakresie właściwości palnych.
11. RFU RST-313 – Use of EN 45545-2 §4.7 for products that do not require to be compliant. RECOMMENDATION FOR USE NB-Rail Coordination group, 17.06.2021 r.
12. Rozporządzenie wykonawcze Komisji (UE) nr 402/2013 z dnia 30 kwietnia 2013 r. w sprawie wspólnej metody oceny bezpieczeństwa w zakresie wyceny i oceny ryzyka i uchylające rozporządzenie (WE) nr 352/2009.

13. PN-EN IEC 60812:2018-12: Analiza rodzajów i skutków uszkodzeń (FMEA i FMECA).
14. PN-EN 50126-1:2018-02: Zastosowania kolejowe – Specyfikowanie i wykazywanie niezawodności, dostępności, podatności utrzymaniowej i bezpieczeństwa (RAMS) – Część 1: Proces ogólny RAMS.
15. Badania i ocena właściwości ogniowych gumowych wałków przejść międzywagonowych, praca nr 000251/22, Instytut kolejnictwa, Warszawa, 2019 r.
16. Radziszewska-Wolińska J.M.: *Fire hazard of rail vehicles with alternative power sources*, Vth International Conference Modern Trends of Fire Protection in Rolling Stock, 10–11 May 2022, Warsaw.